

Prof. dr hab. inż. Józef BŁACHNIO

Warszawa, 14.11.2016 r.

Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych
ul. Księcia Bolesława 6
01-494 Warszawa

POLITECHNIKA GDAŃSKA
WYDZIAŁ FIZYKI TECHNICZNEJ
I MATEMATYKI STOSOWANEJ

Wpłynęło dnia 21. 11. 2016 r.

L. dz. 62/4FT;MS/5N/2016

Zał. —

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgra inż. Zbigniewa USARKA

pt.: „Wpływ geometrii, właściwości magnetycznych oraz sposobu magnesowania próbki na rozkład przestrzenny magnetycznego pola rozproszonego”
wykonanej pod naukowym kierownictwem dra hab. Bolesława AUGUSTYNIAKA – promotora oraz dra inż. Marka CHMIELEWSKIEGO – promotora pomocniczego.

Recenzja rozprawy doktorskiej została opracowana na podstawie uchwały Rady Wydziału Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej Politechniki Gdańskiej z dnia 19.09.2006 r.

1. ANALIZA TEMATYKI PODJĘTEJ ROZPRAWY

Ocena stanu technicznego obiektów jest obszarem intensywnie rozwijanych badań naukowych o charakterze metodologicznym i aparaturowym. Badania metodami nieniszczącymi umożliwiają określenie właściwości materiałów konstrukcyjnych we wszystkich fazach istnienia obiektów. Prace takie są bardzo istotne w celu rozpoznania ich jakości i niezawodności w celu bezpiecznego użytkowania. Wybór właściwej drogi rozwiązania tego problemu należy nadal do jednego z ważniejszych celów naukowego poznania i wymaga szeregu badań o charakterze podstawowym. Zatem problematykę naukową podjętą przez mgra inż. Z. USARKA uważam za nader ważną w realiach aktualnych zapotrzebowań poznawczych i aplikacyjnych. Rozważania zostały ukierunkowane na wzbogacenie dotychczasowej wiedzy w zakresie wpływu różnych czynników na rozkład przestrzenny magnetycznego pola rozproszonego w obiekcie.

Warto podkreślić, że temat podjęty w pracy jest interesujący i w niewystarczającym stopniu rozpracowany. Generuje szereg istotnych zagadnień wymagających poszukiwań metodologicznych, odpowiednio zaprogramowanych weryfikacyjnych eksperymentów oraz złożonych numerycznych symulacji. Doktorant w rozprawie twórczo rozwija ważki problem badawczy, który jak dotąd nie doczekał się wyczerpującego opracowania.

Jak z powyższego wynika, Autor podjął się rozwiązania problemu, który skalą trudności, znaczeniem naukowym i aplikacyjnym spełnia oczekiwania, jakie wiążą się z rozprawą doktorską.

2. ANALIZA MERYTORYCZNA TREŚCI ROZPRAWY

Rozprawa doktorska mgr inż. Z. USARKA zawiera 139 stron, składa się z 5 rozdziałów, bibliografii oraz streszczeń w językach polskim i angielskim. Wykaz literatury zawiera 96 pozycji, ogólnie jest poprawnie dobrany. Przedstawiona bibliografia zawiera 5 pozycji współautorskich Doktoranta z lat 2014–2015, publikacji autorskich nie zawiera. Na podstawie dołączonego do rozprawy streszczenia wynika, że Doktorant ogólnie był współautorem 8 artykułów oraz 2 artykułów samodzielnych.

W rozdziale pierwszym – wstępie Autor na podstawie literatury scharakteryzował następujące magnetyczne metody badań nieniszczących:

- magnetyczno-proszkową (MP),
- polowego efektu Barkhausena (PEB),
- emisji magnetoakustycznej (MAE),
- wycieku strumienia magnetycznego (MFL).

Zaznaczył, że metodę wycieku strumienia magnetycznego powinno się traktować jako alternatywną dla dotychczas szeroko stosowanej metody magnetyczno-proszkowej. Ponieważ służy ona głównie do wykrywania wycieków strumienia magnetycznego w strefach nieciągłości materiałowych, jak również w strefach zmian właściwości magnetycznych materiałów. Wyciek ten ujawnia się w postaci lokalnej anomalii rozkładu przestrzennego pola magnetycznego, które jest mierzone pod powierzchnią badanego obiektu. Mierzonym sygnałem jest rozkład pola magnetycznego w przestrzeni otaczającej badany obiekt. Pole to określa się mianem magnetycznego pola rozproszonego. Autor stwierdził, że technika wykorzystująca tę metodę szeroko stosowana jest w diagnozowaniu obiektów technicznych wykonanych z materiałów magnetycznych. Zauważył, że w niewielkim stopniu zbadana została możliwość wykorzystania wycieku strumienia magnetycznego do ilościowego określania rozkładu przestrzennego, jak i ilościowej oceny stopnia deformacji plastycznej badanego obiektu.

Wykazał, że między innymi przyczyną niepewności określania rozmiarów wady geometrycznej lub wielkości obszaru występowania lokalnej zmiany właściwości magnetycznych w metodzie wycieku strumienia magnetycznego jest zależność rozkładu przestrzennego magnetycznego pola rozproszonego od chwilowych zmian prędkości urządzenia służącego do wykrywania nieciągłości materiałowych – tzw. tłoka magnetycznego. Ponieważ, jak podaje Doktorant, problem uniezależnienia otrzymanego obrazu wady od zmian prędkości tłoka magnetycznego nie jest w pełni rozwiązany. W związku z tym przedstawił cele badań oraz tezy rozprawy. Cele badań sformułował dla dwóch problemów związanych z rozkładem przestrzennym magnetycznego pola rozproszonego:

- spowodowanym lokalną zmianą geometrii i przenikalności magnetycznej,
- spowodowanym magnesowaniem obiektu za pomocą ruchomego źródła strumienia indukcji magnetycznej.

Tezy rozprawy dotyczą rozkładu przestrzennego magnetycznego pola rozproszonego:

- w obecności lokalnej zmiany geometrii i/lub przenikalności magnetycznej,
- w sytuacji magnesowania ruchomym źródłem strumienia indukcji magnetycznej.

Podaje, że w ramach realizacji celów i udowodnienia tez rozprawy podjął badania na obiektach oraz modelowanie z wykorzystaniem odpowiednich programów analitycznych.

W rozdziale drugim Z. USAREK dokonał obszernej krytycznej analizy wiedzy zawartej w literaturze w zakresie magnetyzmu, zwłaszcza w obszarze badań nad wpływem naprężeń i deformacji plastycznej na rozkład magnetycznego pola rozproszonego. W sposób wyczerpujący opisał przyczyny powstawania magnetycznego pola rozproszonego oraz jego charakterystyczne cechy. Przedstawił cenne wnioski dotyczące możliwości wykorzystania rozkładu przestrzennego magnetycznego pola rozproszonego do określania stopnia degradacji materiału oraz określania poziomu naprężeń występujących w obiekcie. Rozważał szereg czynników mających wpływ na uzyskiwanie prawidłowych wyników badań rozkładu przestrzennego magnetycznego pola rozproszonego w obiekcie, takich jak:

- geometria próbki,
- rodzaj materiału, z którego próbka jest wykonana,
- orientacja próbki względem magnetycznego pola Ziemi,
- historia magnetyczna próbki,
- magnetyczne pole rozproszone pochodzące od maszyny rozciągającej,
- wpływ sposobu magnesowania próbki i inne.

W rozdziale tym zawarł także opis prądów wirowych generowanych w obiekcie podczas ruchu źródła strumienia indukcji magnetycznej oraz analizę tych prądów na rozkład magnetycznego pola rozproszonego. Przedstawił analizę stanu badań, które zostały przeprowadzone w dziedzinie zagadnień rozważanych w rozprawie. Z analizy tej można wnioskować, że w niewystarczającym stopniu zbadano metody bazujące na pomiarze magnetycznego pola rozproszonego do ilościowego określania rozkładu oraz wartości naprężeń w obiekcie. Podobnie jest z ilościową oceną stopnia deformacji plastycznej. Ten stan wiedzy zainspirował Doktoranta do opracowania metody ilościowej oceny naprężeń i stopnia deformacji w obiekcie na podstawie pomiarów rozkładu magnetycznego pola rozproszonego.

W rozdziale trzecim Doktorant przedstawił wyniki pomiarów doświadczalnych magnetycznego pola rozproszonego dla zestawu próbek wykonanych ze stali 18G2A różniących się geometrią oraz wartością zadawanych naprężeń rozciągających. Dokonał analizy eksperymentalnych rezultatów pomiaru rozkładu przestrzennego magnetycznego pola rozproszonego. Zaprezentował także wyniki symulacji tego pola metodą elementów brzegowych oraz, bazującą na tych wynikach, metodykę analizy rozkładu przestrzennego magnetycznego pola rozproszonego. Metodyka posłużyła do określenia lokalnej, względnej zmiany przenikalności magnetycznej próbki. W rezultacie przeprowadzonych badań eksperymentalnych na próbkach oraz symulacji numerycznej uzyskał porównywalne wyniki rozkładów składowych przestrzennych magnetycznego pola rozproszonego.

Na podstawie wyników badań próbek z przewężeniem i lokalnym spadkiem przenikalności magnetycznej stwierdził że oba czynniki wywierają podobny wpływ na rozkład przestrzenny magnetycznego pola rozproszonego.

Wykazał, iż rezultaty symulacji potwierdzają słuszność tego samego podejścia do analizy rozkładu przestrzennego magnetycznego pola rozproszonego rejestrowanego w obecności dwóch rozłącznie występujących rodzajów czynników, jakimi są lokalna zmiana przenikalności magnetycznej i zmiana szerokości próbki.

Ponadto za pomocą badań symulacyjnych, przy jednoczesnym występowaniu zróżnicowanego przewężenia próbek i różnej zmianie przenikalności magnetycznej, wykazał iż wyniki takiego podejścia do określania lokalnej zmiany przenikalności magnetycznej mogą być przydatne do oceny stanu mikrostruktury i naprężeń np. w miejscach przewężeń.

W wyniku porównania otrzymanych eksperymentalnie dla próbek A, B i C wielkości anomalii składowej normalnej magnetycznego pola rozproszonego z rezultatami symulacji numerycznej uzyskał pewne rozbieżności. Autor tłumaczy to przyjętymi uproszczeniami w metodzie numerycznej. Dodaje przy tym, że metody numeryczne, takie jak np. metoda elementów brzegowych, są bardzo pomocnym narzędziem umożliwiającym szybką parametryczną analizę badanego sygnału.

Na końcu rozdziału dokonał weryfikacji proponowanej metodyki, w oparciu o rozwiązanie zagadnienia odwrotnego dla jednej z próbek zbadanej doświadczalnie.

W rozdziale czwartym Autor przedstawił wyniki badań eksperymentalnych magnetycznego pola rozproszonego w przypadku stosowania ruchomej magneśnicy. Magneśnicę przemieszczał z różną prędkością nad powierzchnią próbki (płyty) posiadającą powierzchniowe wady geometryczne. Zamieścił analizę sygnału magnetycznego pola rozproszonego pochodzącego od badanej próbki magnesowanej ruchomym źródłem pola magnetycznego. Źródło to wraz z próbką tworzy w pewnym stopniu zamknięty obwód magnetyczny. W wyniku tego zachodzi indukowanie się prądów wirowych w próbce. Autor przedstawił także rezultaty analizy metodą elementów skończonych rozkładu przestrzennego tych prądów. Omówił wpływ głębokości wady w próbce, jej lokalizację względem badanej powierzchni oraz lokalizacji czujników względem magneśnicy na zależność rozkładu magnetycznego pola rozproszonego od prędkości. Ponadto zaproponował sposób kompensacji sygnału magnetycznego pola rozproszonego, umożliwiający częściowe odtworzenie jego postaci quasi-stacjonarnej. W badaniach eksperymentalnych wykazał, iż istnieje zależność między bazowym poziomem składowych magnetycznego pola rozproszonego a prędkością przemieszczania magneśnicy względem powierzchni badanej płyty. Z kolei na podstawie rezultatów symulacji realizowanych metodą elementów skończonych, potwierdził, iż zjawisko przesunięcia poziomu bazowego rozkładu przestrzennego magnetycznego pola rozproszonego wynika pośrednio z generacji prądów wirowych pod biegunami magneśnicy.

W podsumowaniu tego rozdziału Doktorant dochodzi do następujących ogólnych obserwacji:

- bazowe poziomy składowych magnetycznego pola rozproszonego zależą w monotonicznie i najczęściej liniowo od prędkości przemieszczania magneśnicy w zakresie 0–2 m/s,
- zmianę tego poziomu powodują prądy wirowe generowane w próbce pod biegunami magneśnicy,

- największa gęstość indukowanych prądów wirowych występuje w obszarach pod biegunami magnesu i w okolicy wady,
- wielkość i znak przesunięcia bazowego sygnału zależy od położenia czujników pola magnetycznego.

W końcowej części tego rozdziału przedstawił analizę uzyskanych rezultatów badań i symulacji z wynikami prezentowanymi w literaturze. Stwierdza, m.in. że w zakresie monotoniczności przebiegu charakterystyk składowych magnetycznego pola rozproszonego w funkcji prędkości przemieszczania magnesu uzyskał spójne rezultaty z literaturą. Ponadto analiza porównawcza wyników badań Autora z doniesieniami literatury pozwala stwierdzić, co następuje:

- wpływ prędkości magnesu na wartości międzyszczytowe składowych magnetycznego pola rozproszonego nie ma uniwersalnego charakteru i jest zależna od czynników związanych ze sposobem magnesowania, właściwościami materiału próbki i geometrią wady.
- zależność wartości międzyszczytowej od prędkości w ogólności jest niemonotoniczna, chociaż może być monotoniczna w pewnych przedziałach.

W rozdziale piątym, podsumowującym rozprawę, Doktorant uwypuklił obszary prowadzonych badań i zawarte w nich zagadnienia oraz przedstawił zrealizowane cele badań i postawione hipotezy rozprawy.

Pierwszy z badanych obszarów dotyczy wpływu geometrii i właściwości magnetycznych próbki na rozkład przestrzenny magnetycznego pola rozproszonego. W obszarze tym opracował metodykę pomiarów i analizy ilościowej rozkładu przestrzennego magnetycznego pola rozproszonego w przypadku próbek magnesowanych ziemskim polem magnetycznym. Potwierdził słuszność założonej w tym obszarze tezy, iż na podstawie analizy rozkładu przestrzennego magnetycznego pola rozproszonego możliwe jest:

- określenie wielkości lokalnej względnej zmiany przenikalności magnetycznej próbki oraz jest to również możliwe w przypadku współwystępowania w pewnym obszarze próbki lokalnej zmiany geometrii przenikalności magnetycznej,
- wyznaczenie składowej osiowej naprężeń w obszarze występowania zmian geometrii próbki.

Drugi obszar badań dotyczy wpływu sposobu magnesowania na rozkład przestrzenny magnetycznego pola rozproszonego. W obszarze tym usystematyzował i poszerzył stan wiedzy na temat wpływu wybranych czynników na zależność rozkładu przestrzennego magnetycznego pola rozproszonego od prędkości przemieszczania magnesu względem próbki. Potwierdził słuszność założonej w tym obszarze tezy:

- zbadał możliwość przekształcenia uzyskanego eksperymentalnie rozkładu przestrzennego magnetycznego pola rozproszonego do postaci quasi-stacjonarnej,
- określił, iż ta quasi-stacjonarna postać może zostać wykonana na podstawie zależności kalibracyjnych wiążących parametry charakterystyczne tego rozkładu z prędkością magnesu.

Z. USAREK przedstawił zakres przyszłych prac, które dzieli na dwa obszary związane z udoskonaleniem metod badawczych, tj.:

- określenie stopnia deformacji plastycznej, przez doskonalenie konstrukcji sondy oraz zastosowanie filtra dolnoprzepustowego,
- przekształcenie rozkładu przestrzennego magnetycznego pola rozproszonego uzyskanego z wykorzystaniem ruchomej magnesnicy do postaci quasi-stacjonarnej.

3. OCENA MERYTORYCZNA REZULTATÓW ROZPRAWY

Mgr inż. Z. USAREK w rozprawie przedstawił wyniki bogatych badań eksperymentalnych i licznych symulacji numerycznych wpływu geometrii, właściwości magnetycznych oraz sposobu magnesowania próbki na rozkład przestrzennego magnetycznego pola rozproszonego. Zawarte w niej wyniki i zaproponowane sposoby ich analizy mogą być szczególnie przydatne przy stosowaniu diagnostycznych metod wycieku strumienia magnetycznego oraz magnetycznej pamięci metalu. Rozprawa jest na wysokim poziomie merytorycznym. Poszczególne rozdziały są logicznie i spójnie przedstawione. Dobrze dokumentują uzyskanie założonych celów podjętych zadań badawczych, w zakresie poszukiwania jakościowych, a zwłaszcza ilościowych przesłanek, udowadniając sformułowane tezy. Tworzą zbiór wartościowych narzędzi do rozwijania dalszych w tym temacie badań i są istotnym przekazem cennych informacji wzbogacających dotychczasową wiedzę w zakresie wpływu różnych czynników na rozkład przestrzenny magnetycznego pola rozproszonego.

Udowodnienie w rozprawie, w sposób eksperymentalny oraz za pomocą symulacji numerycznych, wpływu geometrii i właściwości magnetycznych obiektu, jak również sposobu magnesowania na rozkład przestrzenny magnetycznego pola rozproszonego uważam za oryginalny dorobek naukowy mgra inż. Z. USARKA.

4. UWAGI SZCZEGÓŁOWE DO ROZPRAWY

Praca jest starannie zredagowana i napisana poprawnym językiem, dlatego zauważyłem tylko kilka błędów oraz nieścisłości i prosiłbym o wyjaśnienie:

1. W pracy nie zawarto wykazu stosowanych licznych oznaczeń i skrótów, co utrudnia analizę jej treści.
2. We wstępie Doktorant zauważa, że metoda wykorzystująca połowy efekt Barkhausena służy do diagnozowania stanu naprężeń w elemencie konstrukcji. Nie wspomina ani nie wykazuje w bibliografii osiągnięć krajowych prac naukowych oraz publikacji, w których zawarte są wyniki wykorzystania efektu Barkhausena do oceny stanu zdegradowania struktury materiału, np. w wyniku procesów tribologicznych czy zmęczenia materiału (Augustyniak M., Garstka T., Kownacki C., Piech T., Pomorski K., Puc M., Wojtas A., i inni). Również nie wykazuje w bibliografii krajowych osiągnięć w zakresie wykorzystania zjawiska magnetosprężystego – efektu Villariego (Kaleta J., Żebracki J. i inni).
3. Na rys. 2.5 i dalszych przedstawiono nie „rozkłady przestrzenne”, lecz rozkłady dwóch składowych przestrzennych indukcji magnetycznego pola rozproszonego.
4. W punkcie 3.1.2. nie podano informacji o obróbce technologicznej i/lub cieplnej próbek stosowanych w badaniach. Chociaż w punkcie 2.5 przedstawiono, „iż rozkład

przestrzenny magnetycznego pola rozproszonego w bardzo wyraźny sposób jest zależny od wartości wcześniej przyłożonego naprężenia”, czyli od naprężenia resztkowego (własnego). Zatem powstaje pytanie, czy i w jaki sposób, w badaniach omawianych w rozdziale trzecim, uwzględniono wyniki obróbki technologicznej próbek?

5. W rozdziale czwartym badania eksperymentalne prowadzono w dwóch przypadkach: pomiary na powierzchni płyty oraz po odwróceniu płyty, gdy wady znajdowały się na przeciwległej jej powierzchni. W pierwszym przypadku wady te nazwano zewnętrznymi (powierzchniowymi), w drugim wewnętrznymi (podpowierzchniowymi) – str. 84 oraz str. 99. Jednak za wady podpowierzchniowe uważa się wady znajdujące się we wnętrzu materiału, a nie po odwróceniu wady powierzchniowej względem czujnika. Zatem to drugie określenie przez Autora rodzaju wady jest niepoprawne.
6. Dlaczego rys. 4.3 – 4.5 oraz rys. 4.7 – 4.8, rys 4.10 - 4.11 sporządzono w układzie $U(x)$, a rysunki podpisano jako rozkłady składowych przestrzennych $B_x(x)$ i $B_z(x)$, oraz gradientów $\partial B_x(x)/\partial x$ i $\partial B_z(x)/\partial x$ magnetycznego pola rozproszonego?
7. Na str. 88 w czwartym wierszu od dołu, na str. 91 w piątym wierszu od dołu i str. 92 w trzecim wierszu od góry błędnie zapisano „rozkładów przestrzennych $B_x(x)$ i $B_x(x)$ ” – czy nie powinno być „rozkładów przestrzennych $B_x(x)$ i $B_z(x)$ ”?
8. Na str. 117 podano, że wpływ prędkości (magneśnicy) na wartości międzyszczytowe składowych magnetycznego pola rozproszonego zależy od geometrii wady. Jednak, na podstawie prostokątnych kształtów o identycznych rozmiarach, lecz o różnej głębokości wykonanych wad na płycie, można uznać, że ten wpływ jest zależny tylko od głębokości wady.

5. PODSUMOWANIE I WNIOSEK KOŃCOWY

Podjęta i opracowana przez mgra inż. Z. USARKA problematyka naukowa odpowiada wymogom stawianym rozprawom doktorskim. Autor sformułował problem naukowy, opracował metody badawcze i skonstruował stanowisko badawcze. W ramach realizacji rozprawy przeprowadził szeroki zakres badań eksperymentalnych, symulacji numerycznych i naukowych analiz. W całości zrealizował cele i zadania badawcze oraz udowodnił postawione tezy. Zaproponował także zakres dalszych prac badawczych. Podejmując i rozwiązując trudny, a zarazem aktualny problem, Doktorant włożył wiele wysiłku naukowego oraz wykazał, że posiada wiedzę teoretyczną i umiejętności samodzielnego formułowania zagadnienia, a także prowadzenia badań naukowych.

Całość rozprawy doktorskiej oceniam wysoce pozytywnie tak pod względem metodologicznym, merytorycznym, jak i edytorskim.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska pt. „Wpływ geometrii, właściwości magnetycznych oraz sposobu magnesowania próbki na rozkład przestrzenny magnetycznego pola rozproszonego” spełnia wymagania stawiane przez Ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki.

Przedstawiam Wysokiej Radzie Wydziału Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej Politechniki Gdańskiej wniosek o dopuszczenie Pana mgra inż. Zbigniewa USARKA do publicznej obrony Jego rozprawy doktorskiej.



Prof. dr hab. inż. Józef BŁACHNIO